

Dégi Júlia

**DETAILED STUDY OF MAFIC LOWER CRUSTAL XENOLITHS FROM  
THE BAKONY–BALATON HIGHLAND VOLCANIC FIELD  
*RELATIONSHIPS BETWEEN METAMORPHIC PROCESSES IN THE LOWER CRUST  
AND THE FORMATION OF THE PANNONIAN BASIN***

A doktori értekezés tézisei

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar  
Földtudományi Doktori Iskola  
Földtan-Geofizika Doktori Program

*A Doktori Iskola és a Doktori Program vezetője:*

**Dr. Monostori Miklós, D.Sc.** egyetemi tanár, ELTE Őslénytani Tanszék

*Témavezetők:*

**Dr. Török Kálmán, Ph.D.**

tudományos főmunkatárs, Magyar Állami  
Eötvös Loránd Geofizikai Intézet

**Dr. Szabó Csaba, Ph.D.**

egyetemi docens, ELTE Közettani és  
Geokémiai Tanszék

*Konzulens:*

**Prof. Dr. Rainer Abart, Ph.D.**

professzor, Bécsi Egyetem

ELTE

2009

## BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedek földtudományi kutatásaiban nagy hangsúlyt kapott a geodinamikai folyamatok megismerése. A Pannon-medencére vonatkozó ilyen irányú kutatások több, mint három évtizedre nyúlnak vissza (pl. Géczy 1973; Stegena et al. 1975). A palinspasztikus rekonstrukciók, biosztratigráfia, szeizmikus sztratigráfia, gravitációs és hőáram térképek, terepi megfigyelések, felszíni deformációs vizsgálatok, paleomágneses adatok, szeizmikus tomográfia, neotektonikai és ürgedőziai vizsgálatok együttes értelmezése alapján mára ismertté váltak a Pannon-medence kialakulásához vezető főbb tektonikai folyamatok (pl. Horváth 2007 és referenciái). A medence kristályos aljzatának északnyugati részét alkotó afrikai eredetű ALCAPA blokk az alpi kollízió során kialakult erős észak–déli kompressziós feszültségek, valamint a Kárpátok mentén zajló hátragördülő szubdukció „szívóhatása” következtében létrejött kelet–nyugati extenziós feszültségterben a kora oligocén során kilökődött az Alpokból és északkelet felé tolódott. A kristályos aljzat délkeleti részét alkotó, európai eredetű Tisza blokk szintén északkelet felé sodródott. A miocén során mindkét blokk jelentős laterális eltolódást, rotációt és megnyúlást szenvedett míg 11 millió évvel ezelőtt elérték jelenlegi helyzetüket. Az extenziós tektonika, valamint a késő bádeniben a Pannon-medence központi területei alatt kialakuló köpenyfeláramlás együttes hatása következtében a medence litoszférája jelentős kivékonyodást szenvedett.

Annak ellenére, hogy a felszínen, illetve a rideg felső kéregben lezajlott változások viszonylag jól ismertek, a mélylitoszférát érintő folyamatok erősen vitatottak. Ezen változások jobb megértéséhez nagymértékben hozzájárul a Pannon-medence poszt-extenziós alkáli bazaltjaiban nagy számban előforduló alsó kéreg és felső köpeny eredetű xenolitok, mint a mélylitoszférából származó közvetlen minták, vizsgálata. Annak ellenére, hogy a xenolitkutatás a Pannon-medencében több, mint két évtizedes múltra tekint vissza (pl. Embey-Isztin et al. 1990; Downes et al. 1992), ezidáig mindössze két publikáció foglalkozott a köpenyxenolitokban rejlő információk és a tektonikai fejlődést leíró geodinamikai modellek egyesítésével (Kovács et al. 2007; Kovács és Szabó 2008).

Az alsó kéreg eredetű xenolitok bonyolultabb ásványos és kémiai összetételük révén többféle, a geodinamikai folyamatok által indukált ásványtani változást képesek megőrizni, mint a köpenyközetek. Mindemellett jellegzetes spinel peridotitos felsőköpeny ásványtársulás esetén az egyensúlyi nyomás becslése nagy nehézségeket okoz, míg az alsó kéreg közeitiben a nyomásbecslésre több lehetőség is nyílik. Ezek alapján az alsó kéreg eredetű xenolitok kulcsfontosságúak a mélylitoszféra geodinamikájának megértésében. Korábbi kutatások (pl.

Embey-Isztin et al. 2003) rámutattak arra, hogy a Bakony–Balaton-felvidék vulkáni terület (BBFVT) poszt-ekenziós alkáli bazaltjaiban előforduló alsó kéreg eredetű mafikus és metapélites granulit xenolitok 1.0–1.4 GPa nyomáson, 800–1000 °C közötti hőmérsékleten képződtek az alpi orogenezis során. A Pannon-medence miocén ekenziója során a kéregben lezajlott változásokat az alpi orogenezis során képződött elsődleges ásványegyüttes fázisainak rovására kialakuló reakciótermékek tükrözik, amelyre Török (1995) is rámutatott. Ennek ellenére az alsó kéreg geodinamikai fejlődéséhez kapcsolódó ásványreakciókat doktori munkámat megelőzően részletesen nem dokumentálták.

Ph.D. munkámban célul tűztem ki a BBFVT alkáli bazaltjaiban és bazalttufaiban található mafikus alsó kéreg eredetű xenolitokban megjelenő elsődleges ásványtársulások és az ezeket felülíró ásványreakciók részletes petrográfiai és ásványkémiai vizsgálatát, geotermobarometriai analizisét, termodinamikai és lehetőség szerint diffúziós modellezését a terület alatti alsó kéreg tektonometamorf fejlődéstörténetének megismerése érdekében. Mivel az alsó kéreg fejlődésének geodinamikai modellbe történő illesztéséhez elengedhetetlen egy jól megalapozott, egységes adatbázis, fontos célom volt továbbá, hogy a Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium tagjai által az elmúlt 5 évben összegyűjtött nagy mennyiségű alsó kéregre vonatkozó petrográfiai és ásványkémiai információt egységes rendszerbe foglaljam.

#### VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Doktori munkám alapját 278 darab a BBFVT-ről származó mafikus alsó kéreg eredetű xenolit adja. A kutatás során a fokozatos megismerés és folyamatos visszacsatolás elvét követtem. Geokémiai vizsgálataimat a doktori munka limitált terjedelme miatt az ásványfázisok főleg összetételére korlátoztam. A minták makroszkópos leírását követően, vékonycsiszolatok optikai mikroszkópos vizsgálatával azonosítottam a kőzetben található ásványokat és főbb ásványtársulásokat. Ennek ismeretében 67 vékonycsiszolatot választottam ki további vizsgálatra. A mikroszerkezeti megfigyeléseket pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatokkal valamint elektronmikroszondás (EPMA) kémiai analízissel egészítettem ki. A kőzetben megőrződött ásványtani folyamatok részletes megismerése érdekében pontelemzések mellett kvalitatív és kvantitatív vonalmenti analízist és elemkoncentráció-térképeket is készítettem. A finomszemcsés reakciótermékek mikroszerkezetének, valamint az egyes ásványokban megjelenő szubmikronos léptékű kémiai zónásság tanulmányozásához a hagyományos elektronmikroszondánál körülbelül egy nagyságrenddel nagyobb térbeli felbontóképességet biztosító, téremissziós sugárforrással felszerelt elektronmikroszondát (FE–EPMA) használtam. Egy ásványtársulás, a gránát után

képződött szimplektitek esetén az így elérhető közelítőleg 100 nm-es laterális felbontás sem bizonyult elegendőnek. Ebben az esetben a vékonycsiszolat előre meghatározott pontjairól fókuszált ionsugaras technikával (FIB, Wirth 2004) készült ultravékony fóliákat transzmissziós elektronmikroszkópban (TEM) tanulmányoztam.

Az optikai mikroszkópos vizsgálatokat az ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszékén végeztem. Pásztázó elektronmikroszkópos és elektronmikroszondás vizsgálatok négy különböző laboratóriumban, az ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszékén (Amray 1810I típusú, EDS detektorral ellátott SEM), az Amerikai Geológiai Szolgálat, Restoni Kutatóközpontjában (JEOL 8900 WDS detektorral ellátott EPMA), a Bécsi Egyetemen (Cameca SX-100 WDS detektorral ellátott EPMA) valamint a Berlini Szabadegyetemen (JEOL JXA-8200 Superprobe WDS detektorral ellátott EPMA) készültek. A nagyfelbontású elektronsugaras vizsgálatokat GFZ Német Földtudományi Kutatóközpont Potsdami Helmholtz Centrumában végeztem JEOL JXA-8500F HYPERPROBE típusú FE-EPMA-n illetve FEI Tecnai<sup>TM</sup> G2 F20 X-Twin típusú TEM-en.

#### EREDMÉNYEK

(1) Összegyűjtöttem és egy egységes MS Access alapú adatbázisba (GRANULITE) foglaltam 59, a BBFVT-ről származó mafikus alsó kéreg eredetű xenolit petrográfiai és geokémiai adatait. Az adatbázisban 5083 elektronmikroszondás pontelemzést tároltam 67 csiszolat 1135 szemcséjéből. Mindemellett az adatbázisban eltároltam 435 visszaszórt elektronkép, 59 vonalmenti kémiai analízis, 49 elemkoncentráció térkép jellemző adatait, valamint a csiszolatok kulcsszavas, illetve leíró jellegű petrográfiai jellegzetességeit is.

(2) Az adatbázis programozása során egységes, automatikusan futó ásványkémiai számításokat építettem be annak érdekében, hogy a származtatott adatok összehasonlíthatók legyenek. Az ehhez szükséges adatszerkezet és a számításokat végző lekérdezések könnyedén átválthatók más, hasonló jellegű információt tartalmazó adatbázisokba. Ennek jó példáját szolgáltatta a 2008-ban létrehozott web-alapú mélylitoszféra adatbázis (Deep Lithosphere DataBase, <http://lrg-dldb.elte.hu>), melynek adatszerkezete a GRANULITE modelljét követi.

(3) Az adatfeldolgozás megkönnyítése érdekében három adatelemzési eljárást hoztam létre a GRANULITE adatbázison belül: a bevitt elektronmikroszondás pontelemzések ellenőrzése, ásványkémiai és geotermobarometriai analízis. A felhasználóbarát működés érdekében számos lekérdezést, űrlapot és jelentést hoztam létre, amelyek egyrészt megkönnyítik az adatok bevitelét illetve kinyerését, másrészt automatizált keretek között végigvezetik a

felhasználót az adatfeldolgozás különböző lépésein. A doktori munkában szereplő adatok feldolgozása során teszteltem a GRANULITE adatbázisba épített adatelemzési eljárásokat. Az adatfeldolgozás egyrészt jelentősen felgyorsult és hatékonyabbá vált, másrészt több új eredményt is hozott. Többek között az ásványkémiai analízisbe épített numerikus zónássági elemzés mutatta ki egyes gránátok esetén az összetételi zónásságot, amelyet később elemkoncentráció térképekkel igazoltam. A kifejlesztett adatelemzési eljárások szintén áttölthetők más, hasonló jellegű adatbázisokba.

(4) A petrográfiai és geokémiai vizsgálatok eredményeinek alapján számos ásványtársulást különítettem el a vizsgált xenolitokon belül és megállapítottam ezek kialakulási sorrendjét. Az ásványtársulásokat két alapvető csoportra osztottam. Az elsődleges ásványtársulások alkotják a kőzet vázát és egyben ezek képviselik a metamorf fejlődéstörténet legkorábbi állomását, ami a kőzetben megőrződött. Az ún. reakciótermékek a metamorf fejlődéstörténet későbbi szakaszaiban képződtek az elsődleges ásványok rovására.

(5) Petrográfiai és ásványkémiai jellegzetességek alapján az elsődleges ásványtársulásokon belül öt típust különítettem el: „szokványos” ( $Grt - Cpx - Pl \pm Opx \pm Amp \pm Ilm \pm Rt$ ), Ca-gazdag ( $Grt - Cpx \pm Pl \pm Opx \pm Amp \pm Ttn$ ), Mg-gazdag ( $Grt - Cpx - Pl - Opx \pm Bt \pm Rt \pm Qtz$ ) és Fe-gazdag granulitok ( $Grt - Cpx - Pl \pm Amp \pm Ilm$ ), valamint Ca-szegény kőzetek ( $Grt - Pl - Qtz \pm Opx \pm Bt \pm Rt$ )\*.

(6) Modális elemzés és tömegegyensúly-számítás alapján a különböző xenolit típusok különböző átlagos kőzetösszetétellel rendelkeznek. A „szokványos”, Ca-gazdag granulitok, valamint az Ca-szegény kőzetek egy-egy reprezentatív példányából meghatároztam az átlagos kőzetösszetételt és ennek segítségével fázisdiagram számításokat végeztem. Megállapítottam, hogy bár a megfigyelt ásványtársulások alapvető eltéréseket mutatnak, az adott kőzetkémia esetén mind nagy, körülbelül 1 GPa feletti, nyomáson stabil. Általánosságban elmondható, hogy mátrix fázisok alkotta elsődleges ásványegyüttesek az elsődleges ásványok zárványaiként megjelenő ásványtársulásoknál kisebb nyomáson stabilak. Annak ellenére, hogy a megfigyelt ásványok összetételében nem mutatkozik különbség, a stabilitási viszonyok arra utalnak, hogy a kőzet nyomáscsökkenést és/vagy hőmérséklet emelkedést szenvedett.

(7) Az elsődleges ásványtársulások geotermobarometriai elemzése során többszáz lokális kémiai egyensúlyt mutató ásványegyüttest gyűjtöttem össze. Az egyensúly meglétét több

---

\* Az ásványnevek rövidítésére a teljes szövegben Kretz (1983) Spear (1995) által módosított rendszerét alkalmaztam.

lépésben teszteltem, így sikerült előállítanom olyan „ásványpárokat” tartalmazó adatsort, amely alkalmas a különböző geotermobarometriai módszerek összehasonlítására. Az adatgyűjtést minden esetben a GRANULITE adatbázis segítségével végeztem, míg a hőmérséklet- és nyomásbecsléshez szükséges számításokra összehasonlító MS Excel táblázatokat hoztam létre, amelyek az adatbázis által összegyűjtött adatokat változtatás nélkül képesek fogadni. Ez a módszer nagyságrendekkel meggyorsította a geotermobarometriai elemzést és lehetővé tette nagy számú adat átlátható kezelését.

(8) 4 Grt–Cpx, 2 Grt–Opx és 2 Cpx–Opx termométert, valamint 3 Grt–Cpx–Pl, 3 Grt–Opx–Pl és 1 Cpx–Pl barométert hasonlítottam össze a lokális egyensúlyi ásványtársulások adatait felhasználva és kidolgoztam a vizsgált adatokra legmegfelelőbb geotermobarometriai elemzés metódusát. Az egyensúlyi nyomás és hőmérséklet meghatározására Grt–Cpx–Pl és Grt–Opx–Pl ásványtársulások esetén egységesen Eckert et al. (1991) barométereit, valamint Ai (1994) Grt–Cpx, és Harley (1984) Grt–Opx termométerét alkalmaztam.

(9) Ezen módszer alkalmazásával meghatároztam 52 xenolit elsődleges ásványtársulásának képződési nyomását és hőmérsékletét (1.0–1.6 GPa, 750–1070 °C). A nyomás- és hőmérsékletbecslés hibájának figyelembevételével megállapítható, hogy a xenolitokban egy körülbelül 15 °C/km meredekségű paleogeoterma őrződött meg, ami megfeleltethető az alpi orogén gyökér 35 és 57 km közötti mélységben elhelyezkedő alsó kérgének. Ennek alapján megállapítható, hogy az alpi orogén gyökér vastagsága a Pannon-medence extenzióját megelőzően közel 60 km volt.

(10) A különböző átlagos kémiai összetételű xenolit típusok eloszlása a paleogeotermán belül nem mutat szabályosságot. Ez alapján az alpi orogén gyökérben centiméteres léptékű kémiai heterogéinitások voltak jelen, ami jól egybevág az Andok-típusú subdukció során átdolgozott alsó kéreg reológiai felépítésével (pl. Faccenda et al. 2007).

(11) A reakciótermékek részletes vizsgálata alapján elkülönítettem az alsó kéregben, a Pannon-medence extenziója során, valamint a xenolit – befogadó bazalt kölcsönhatás következtében kialakult ásványegyütteseket.

(12) A Pannon-medence extenziójának bevezető szakaszában a biotit-tartalmú kőzetek parciális olvadásnak indultak. A Bt+Pl+Qtz+CO<sub>2</sub>-gazdag fluidum reakcióban képződött resztes jellegű Grt–Opx–Pl ásványtársulások képződési körülményei jól egyeznek az ugyanabban a xenolitban található elsődleges ásványegyüttes kialakulási viszonyaival, ami arra utal, hogy a reakció fő hajtóereje a CO<sub>2</sub>-gazdag fluidumok beáramlása volt. A kis mennyiségben jelen levő olvadékszárványok és K-tartalmú fázisok alapján a parciális olvadás során képződött olvadék nagy része kivonódott a kőzetből.

(13) Egy Ca-szegény kőzet és „szokványos” granulit kontaktusán kialakult Grt–Opx granulit zónában talált nemegyensúlyi gránátok kémiai zónássága arra utal, hogy a zóna egy a fent leírthoz hasonló parciális olvadási folyamat során jött létre. Ennek alapján valószínűsíthető, hogy az ilyen típusú kőzetek egy része hasonló mechanizmussal képződött.

(14) Az extenzió során számos metasztatikus ásványegyüttes képződött feltehetően az elsődleges ásványok és a kéregben migráló olvadékok kölcsönhatása során. Az így kialakult ásványegyütteseknek két típusa van: piroxéneket helyettesítő metasztatikus amfibolok, valamint titanit és olvadék reakciójában képződött Cpx–Ilm–Pl szimplektitiek. Utóbbi ásványegyütteseken alkalmaztam McCarthy és Patino-Douce (1997) Cpx–Pl barométerét, amely szerint egyes xenolitokban a Cpx–Ilm–Pl szimplektitiek képződési nyomása kisebb, mint az ugyanabban a mintában ugyanazzal a módszerrel meghatározott nyomás. Emellett a különböző Cpx–Ilm–Pl szimplektitiek különböző mikroszerkezeti és kémiai egyensúlyt mutatnak. Mindkét megfigyelés arra utal, hogy a Pannon-medence extenziója során folyamatosan perkoláltak parciális olvadékok az alsó kéregben és folyamatos nyomáscsökkenés mellett reagáltak a szilárd fázisokkal.

(15) Az extenzió során bekövetkező jelentős litoszféra kivékonyodáshoz köthető a gránát szétesése szubmikronos szemcseméretű An–Al–Opx–Spl alkotta szimplektitű (továbbiakban 1. típusú szimplektit) is, amely a xenolitokban leggyakrabban előforduló reakció. A reakció jobb megértése érdekében a szubmikronos szemcseméretű 1. típusú szimplektit, valamint a gránát–szimplektit reakciófrontot FE–EPMA és FIB–TEM technikákkal is vizsgáltam. A reakciószövetet a reakciófrontra merőleges irányban megnyúlt, átlagosan 200 nm átmérőjű Al-gazdag ortopiroxén és anortit hálózata alkotja, ahol az ortopiroxénben átlagosan 20 nm átmérőjű spinell szemcsék ülnek. A finomszemcsés 1. típusú szimplektitről készült elemkoncentráció-térképek és a TEM képek alapján meghatározott modális összetétel felhasználásával készült tömegegyensúly számítások alapján a  $Grt = An + Al-Opx + Spl$  gránát bomlási reakció izokémikus. A gránát összetételre számított fázisdiagramok szerint a reakció hajtóereje nyomáscsökkenés.

(16) A TEM vizsgálatok alapján a gránát utáni 1. típusú szimplektit fázisai a prekurzor gránattal egy igen éles reakciófront mentén érintkeznek, és mindhárom fázis itt nukleálódik. A gránáton belül, közvetlenül a reakciófront mentén kimutattam egy 2–5 nm széles rendezetlen szerkezetű Fe-gazdag zónát, amely feltehetően a fázissszeparációhoz szükséges diffúziós anyagvándorlás helyét jelzi. Ezen megfigyelések alapján a szimplektitképződés mechanizmusát nemegyensúlyi termodinamikai megfontolások segítségével modelleztem. Megállapítottam, hogy a reakciófront hátrálási sebessége, a szimplektit átlagos

szemcsemérete és a diffúziós együttható közt szoros kapcsolat van. Ez a modell alapot teremt egy új, mikroszerkezet-fejlődést leíró metamorf reakciósebességi vizsgálat kifejlesztésére.

(17) A gránát bomlásán túl a közetben előforduló titanomagnetit-tartalmú reakciótermékek komplex kémiai zónásságát is nagyfelbontású elektronsugaras analitikai technikákkal vizsgáltam. Elemkoncentráció térképek és termodinamikai modellezés alapján megállapítást nyert, hogy az alsó kéreg fejlődése során, feltehetően redukció következtében a korábban homogén elsődleges ilmenitből titanomagnetit lamellák elegyedtek szét. Ezt követően a xenolit – befogadó bazalt kölcsönhatás során a beszivárgó bazaltból titanomagnetit korona növekedett az alsó kéregben képződött oxidokra és azokkal intenzív kémiai kölcsönhatásba került. A szilárd fázisú diffúzióval történt Fe–Ti kicserélődés a titanomagnetit lamellák eredeti összetételét teljesen felülírta, az ilmenitek pedig a szemcse szélén található alig egymikronos szélességű zónában lokális kémiai egyensúlyba kerültek a magnetit koronával 1200 °C-on. A titanomagnetit lamellák kémiai zónásságának diffúziós modellezése alapján a kémiai kölcsönhatás időtartamát 9–20 órára becsültem.

(18) A xenolit – befogadó bazalt kölcsönhatás rendkívül rövid időtartama alatt nem csak a Fe–Ti-oxidok összetétele módosult jelentősen. Az alsó kéregben képződött finomszemcsés reakciótermékek összetétele és mikroszerkezete drasztikusan megváltozott, a beszivárgó bazalt reagált több elsődleges ásvánnyal, valamint az OH-tartalmú fázisok is olvadásnak idultak a nagy hőhatás következtében, ezáltal a teljes közet összetétele jelentősen módosult.

#### REFERENCIÁK

- Ai Y (1994) A revision of the garnet-clinopyroxene Fe<sup>2+</sup>-Mg exchange geothermometer. *Contrib Mineral Petrol* 115: 467–473
- Downes H, Embey-Isztin A, Thirlwall MF (1992) Petrology and geochemistry of spinel peridotite xenoliths from the western Pannonian Basin (Hungary) evidence for an association between enrichments and texture in the upper mantle. *Contrib. Mineral. Petrol* 109: 340–354
- Eckert JO, Newton RC, Kleppa OJ (1991) THE  $\Delta H$  OF REACTION AND RECALIBRATION OF GARNET–PYROXENE–PLAGIOCLASE–QUARTZ GEOBAROMETERS IN THE CMAS SYSTEM BY SOLUTION CALORIMETRY. *AMER MINERAL* 76: 148–160
- Embey-Isztin A, Downes H, Kempton P, Dobosi G, Thirlwall M (2003) Lower crustal xenoliths from the Pannonian Basin, Hungary. Part 1: mineral chemistry, thermobarometry and petrology. *Contrib Mineral Petrol* 144: 652–670
- Embey-Isztin A, Sharbert HG, Dietrich H, Poultidis H (1990) Mafic granulites and clinopyroxenite xenoliths from the Transdanubian Volcanic Region (Hungary): implications for the deep structure of the Pannonian Basin. *Mineral Mag* 54: 463–483
- Faccenda M, Gerya T, Chakraborty S (2008) Styles of post-subduction collisional orogeny: Influence of convergence velocity, crustal rheology and radiogenic heat production. *Lithos* 103(1–2): 257–287



- Géczy B (1973) The origin of the Jurassic faunal provinces and the Mediterranean plate tectonics. *Ann Univ Sci Bp R Eötvös nom Sect Geol* 16: 99–114
- Harley SL (1984) The solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet in  $\text{FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  and  $\text{CaO-FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . *J Petrol* 25: 665–696.
- Horváth F (2007) A Pannon-medence geodinamikája — Eszmetörténeti tanulmány és geofizikai szintézis. Doctoral Thesis, ELTE, Budapest, pp. 238
- Kovács I, Csontos L, Szabó Cs, Bali E, Falus Gy, Benedek K, Zajacz Z (2007) Paleogene–early Miocene igneous rocks and geodynamics of the Alpine-Carpathian-Pannonian-Dinaric region: An integrated approach. *Geological Society of America Special Paper* 418: 93–111
- Kovács I, Szabó Cs (2008) Middle Miocene volcanism in the vicinity of the Middle Hungarian zone: evidence for an inherited enriched mantle source - A review: *Journal of Geodynamics* 45: 1-17
- Kretz R (1983) Symbols for rock-forming minerals. *Amer Mineral* 68: 277-279
- McCarthy TC, Patino-Douce AE (1998) Empirical calibration of the silica-Ca-tschermak's-anorthite (SCAn) geobarometer. *J Metamorphic Geol* 16: 675–686
- Spear FS (1995) Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Mineralogical Society of America MONOGRAPH
- Stegena L, Géczy B, Horváth F (1975) Late Cenozoic evolution of the Pannonian basin. *Tectonophysics* 26: 71-90
- Török K (1995) Garnet breakdown reaction and fluid inclusions in a garnet-clinopyroxenite xenolith from Szentbékakál (Balaton-Highland, Western Hungary). *Acta Vulcanol* 7(2): 285–290
- Wirth R (2004) Focused Ion Beam (FIB): A novel technology for advanced application of micro- and nanoanalysis in geosciences and applied mineralogy. *Eur J Mineral* 16: 863–876
- A PH.D. MUNKA ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ SAJÁT KÖZLEMÉNYEK

#### *Referált szakfolyóiratban megjelent cikkek*

- Dégi, J., Abart, R., Török, K., Bali, E., Wirth R., Rhede, D. (in press) Symplectite formation during decompression induced garnet breakdown in lower crustal mafic granulite xenoliths: mechanisms and rates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, DOI 10.1007/s00410-009-0428-z. (IF: 3.853 (2008), független hivatkozások száma: 0)
- Dégi, J., Abart, R., Török, K., Rhede, D., Petrishcheva, E. (2009): Evidence for xenolith – host basalt interaction from chemical patterns in Fe–Ti-oxides from mafic granulite xenoliths of the Bakony–Balaton Volcanic field (W-Hungary). *Mineralogy and Petrology*, 95(3-4), 219–234. (DOI: 10.1007/s00710-008-0035-0, IF: 1.511 (2008), független hivatkozások száma: 0)
- Schubert F., Kóthay, K., Dégi, J., M. Tóth, T., Bali, E., Szabó, Cs., Benkó, Zs., Zajacz, Z. (2007) Terms and symbols used in English and Hungarian fluid and melt inclusion literature. *Földtani Közlöny*, 137, 83-102.
- Török, K., Dégi, J., Marosi, Gy. Szép, A. (2005): Reduced carbonic fluids in mafic granulite xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, W-Hungary. *Chemical Geology*, 223, 93-108. (IF: 2.94, független hivatkozások száma: 4)
- Dégi, J., Török, K. (2003): Kőzettani bizonyítékok a kéreg kivékonyodására a Bakony–Balaton-felvidék vulkáni területen. *Magyar Geofizika*, 44/4. 125-133. (IF: 0, független hivatkozások száma: 1)

### *Konferencia összefoglalók*

- Dégi, J., Török K. (2009): Crustal thickening during the Alpine orogeny: insights from mafic granulite xenoliths of the Pannonian Basin. MinPet2009 & 4th Mineral Sciences in the Carpathians Conference, 2009. szeptember 7-11., Budapest
- Dégi, J., Török K. (2009): Crustal thickening during the Alpine orogeny: insights from mafic granulite xenoliths of the Pannonian Basin. Granulites and Granulites 2009 — Granulites, partial melting and rheology of orogenic lower crust, 2009. július 13-15., Hrubá Skala
- Dégi, J., Wirth, R., Abart, R., Török, K., Rhede, D. (2008) Mechanism of symplectite formation in lower crustal granulite xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field. 86th Annual Meeting of the German Mineralogical Society (DMG), 2008. szeptember 14-17., Berlin
- Dégi, J., Török, K., Abart, R. (2008) Metamorphic evolution of lower crustal mafic granulite xenoliths from the Bakony–Balaton Highland Volcanic Field (W-Hungary) and its correlation with the formation of the Pannonian Basin. 33rd International Geological Congress (IGC), 2008. augusztus 6-14., Oslo
- Dégi, J. (2008) Geothermobarometry — A new database for the comparison of mineral chemistry and different geothermobarometric methods for metamorphic rocks. 33rd International Geological Congress (IGC), 2008. augusztus 6-14., Oslo
- Dégi, J., Abart, R., Török, K. (2008) The role of Fe–Ti-oxides in the study of lower crustal garnet granulite xenoliths from the Central Pannonian Basin. European Geosciences Union General Assembly 2008, 2008. április 13-18., Bécs, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-10768.
- Dégi, J., Abart, R., Török, K. (2008) Isochemical garnet breakdown in lower crustal garnet granulite xenoliths from the Central Pannonian Basin: Insights from high resolution electron microbeam analyses. European Geosciences Union General Assembly 2008, 2008. április 13-18., Bécs, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-10758.
- Dégi, J., Török, K., Kodolányi, J. (2007) Crustal evolution during the formation of the Pannonian Basin: Mineral reactions in lower crustal xenoliths from the BBHVF. Hunttek Workshop, 2007. szeptember 20-22., Sopron, Előadás összefoglalók, 24.
- Török, K.; Dégi, J.; Marosi, Gy. (2007) High temperature melting of biotite in CO<sub>2</sub> rich environment and formation of orthopyroxene-garnet-plagioclase rocks in the lower crust: A xenolith example from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (W-Hungary). European Current Research on Fluid Inclusions XIX., 2007. július 17-20., Bern; Abstract Volume, 242.
- Dégi, J., Török, K., Kodolányi, J., Abart, R. (2007): Changes of oxidation state in lower crustal garnet granulites: the role of CO<sub>2</sub>-rich fluids. European Current Research on Fluid Inclusions XIX., 2007. július 17-20., Bern, Abstract Volume, 253.
- Dégi, J. (2007): Informatikai problémák a xenolitkutatásban – GRANULIT: az egységes adatbázis építése. XXXVIII. Ifjú Szakemberek Ankétja, 2007. március 30-31., Bakonybél
- Dégi, J., Török, K., Badenszki, E. (2005): Detailed study of the CO<sub>2</sub>-CO-C fluid system on mafic granulite xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, W-Hungary. European Current Research on Fluid Inclusions XVIII., 2005. július 6-9., Siena